

GALLIUM NITRIDE COMPOUND SEMICONDUCTOR ELEMENT

Patent number: WO02084831
Publication date: 2002-10-24
Inventor: KAWAGOE KIMIHIRO (JP)
Applicant: NICHIA CORP (JP); KAWAGOE KIMIHIRO (JP)
Classification:
- international: H01S5/323; H01S5/22
- european: H01L33/00C4D3C
Application number: WO2002JP03475 20020408
Priority number(s): JP20010114025 20010412

Also published as:

EP1387453 (A1)
US2004124500 (A1)
CN1502154 (A)
CA2444273 (A1)

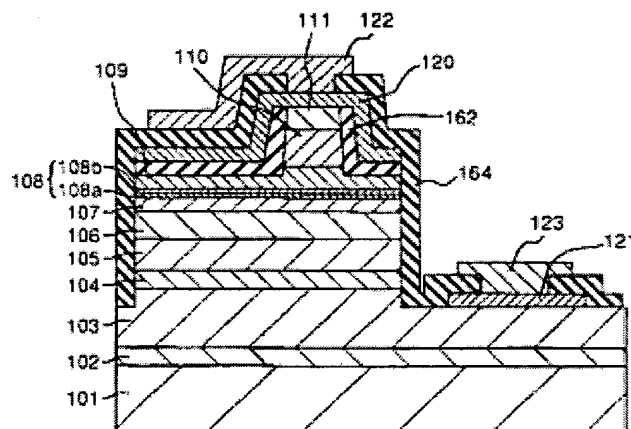
Cited documents:

EP0762516
JP10012969
JP8293643
JP9266326
EP0803916
more >>

[Report a data error here](#)

Abstract of WO02084831

A gallium nitride compound semiconductor element long in service life and excellent in temperature characteristics, wherein a first cap layer (108a) containing low-concentration n-type impurities and p-type impurities (preferably non-dope grown), and a second cap layer including Al and doped with p-type impurities are laminated on an active layer (107) consisting of an n-type gallium nitride compound semiconductor including In and doped with n-type impurities to thereby restrict compensation by a donor and an acceptor near the interface between the active layer and the cap layer.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2002年10月24日 (24.10.2002)

PCT

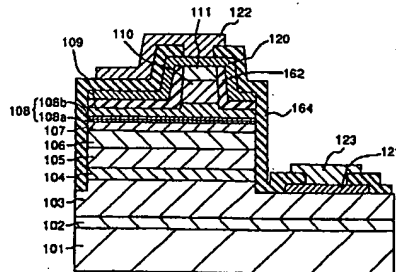
(10) 国際公開番号
WO 02/084831 A1

- (51) 国際特許分類: H01S 5/323, 5/22 (72) 発明者; および
(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 川越 公博 (KAWA-GOE, Kimhiro) [JP/JP]; 〒774-8601 徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化学工業株式会社内 Tokushima (JP).
- (21) 国際出願番号: PCT/JP02/03475
- (22) 国際出願日: 2002年4月8日 (08.04.2002)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ: 特願2001-114025 2001年4月12日 (12.04.2001) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 日亜化学工業株式会社 (NICHIA CORPORATION) [JP/JP]; 〒774-8601 徳島県阿南市上中町岡491番地100 Tokushima (JP).
- (81) 指定国 (国内): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (広域): ARIPO 特許 (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーロシア特許 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ特

[続乗有]

(54) Title: GALLIUM NITRIDE COMPOUND SEMICONDUCTOR ELEMENT

(54) 発明の名称: 窒化ガリウム系化合物半導体素子



(57) Abstract: A gallium nitride compound semiconductor element long in service life and excellent in temperature characteristics, wherein a first cap layer (108a) containing low-concentration n-type impurities and p-type impurities (preferably non-dope grown), and a second cap layer including Al and doped with p-type impurities are laminated on an active layer (107) consisting of an n-type gallium nitride compound semiconductor including In and doped with n-type impurities to thereby restrict compensation by a donor and an acceptor near the interface between the active layer and the cap layer.

(57) 要約:

本発明は、長寿命で温度特性に優れた窒化ガリウム系化合物半導体素子を提供することを目的とし、Inを含みn型不純物をドーピングしたn型窒化ガリウム系化合物半導体から成る活性層107の上に、低濃度のn型不純物及びp型不純物を含む（好ましくはノンドーピング成長の）第1のキャップ層108aと、Alを含みp型不純物をドーピングした第2のキャップ層とを積層することにより、活性層とキャップ層の界面付近におけるドナーとアクセプタの補償を抑制する。

WO 02/084831 A1

00020000 (2479x3508x2 tiff)

WO 02/084831 A1



許 (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), OAPI 特許 (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG). 2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

添付公開書類:

— 国際調査報告書

窒化ガリウム系化合物半導体素子

5 技術分野

本発明は、窒化物半導体 ($\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$, $0 \leq x$, $0 \leq y$, $x+y \leq 1$) を用いた窒化ガリウム系化合物半導体素子に関し、特に In を含む活性層を有する窒化ガリウム系化合物半導体素子に関する。

10 背景技術

窒化物半導体を用いた窒化ガリウム系化合物半導体素子は、発光ダイオード素子 (LED)、レーザダイオード素子 (LD) 等の発光素子、太陽電池、光センサ等の受光素子、あるいはトランジスタ、パワーデバイス等の電子デバイスに用いられる。特に、窒化物半導体を用いた半導体レーザ素子は、紫外域から赤色に至るまで、幅広く可視光域での発振が可能と考えられ、その応用範囲は、光ディスクシステムの光源の他、レーザプリンタ、光ネットワークなどの光源など、多岐にわたるものと期待されている。

従来の窒化ガリウム系化合物半導体素子では、 In を含む n 型活性層と、 Al を含む p 型クラッド層を組み合わせたヘテロ pn 接合を基本構成にもつ場合が多い。また、 In を含む n 型活性層は分解し易いため、比較的高温で p 型クラッド層を成長するときの活性層の分解を防止するために、 n 型活性層と p 型クラッド層の間に AlGaIn から成るキャップ層を薄膜に形成する場合が多い。

従来の窒化ガリウム系化合物半導体素子の一例として、窒化物半導体レーザの模式断面図を図 3 に示す。図 3 の窒化物半導体レーザは、 InGaIn から成る MQW 活性層を、 n 型及び p 型 AlGaIn クラッド層で挟んだダブルヘテロ構造を有している。ELOG 成長された GaIn 基板 101 上に、バッファ層 102 を介して、 n 型 AlGaIn コンタクト層 103、 n 型 InGaIn クラッド防止層 104、 n 型 $\text{AlGaIn}/\text{GaIn}$ 超格子クラッド層 105、アンドープ GaIn 光ガイド層 106、 InGaIn から成る量子井戸活性層 107、 p 型 AlGaIn キャッ

ブ層108、アンドープGaN光ガイド層109、p型AlGa_{1-x}N/GaN超格子クラッド層110、p型GaNコンタクト層111が順に積層されている。また、162はZrO₂からなる保護膜、164はSiO₂とTiO₂よりなる誘電体多層膜、120はp電極、121はn電極、122と123は取り出し電極である。

5 活性層107は、アンドープIn_{x1}Ga_{1-x1}N井戸層（ $0 < x_1 < 1$ ）とSiドープIn_{x2}Ga_{1-x2}N障壁層（ $0 \leq x_2 < 1$ 、 $x_1 > x_2$ ）が適当な回数だけ交互に繰り返して積層されたMQW構造を有している。p型AlGa_{1-x}Nキャップ層108は、活性層107とヘテロpn接合を形成しており、電子を活性層107中に有効に閉じ込めてレーザの閾値を低下させる。また、p型キャップ層108は、活性層107へのホールの供給の役割を果たすため、高濃度のMgがドープされている。p型キャップ層108は、15～500Å程度の薄膜で成長させれば良く、薄膜であればp型光ガイド層109やp型光クラッド層110よりも低温で成長させることができる。したがって、p型キャップ層108を形成することにより、p型光ガイド層109等を活性層の上に直接形成する場合に比べて、Inを含む活性層107の分解を抑制することができる。

図3に示す構造の窒化ガリウム系化合物半導体レーザにより、室温、5mWの連続発振の条件で1万時間を超える寿命の達成が可能である。

しかし、窒化ガリウム系化合物半導体素子には、その用途を拡大するために、さらなる素子寿命の向上が求められている。特に、窒化ガリウム系化合物半導体レーザについては、素子寿命の向上が極めて重要であり、さらに、高温動作時のしきい特性向上も求められている。

発明の開示

25 本件発明者は、窒化ガリウム系化合物半導体素子において、(1) n型活性層に近接するp型キャップ層の不純物濃度が低い方が、素子寿命及び温度特性が良好となること、及び(2) n型活性層とp型キャップ層とのpn接合界面で、n型及びp型不純物が互いに相殺し合う結果、キャリア生成に寄与しない不純物が存在することに着目し、本件発明をなすに至った。

上記(2)の点について、図2Aを参照しながら詳細に説明する。図2Aは、従来の窒化物半導体素子におけるp型キャップ層108とn型活性層107とのpn接合界面の様子を示す模式図である。図に示すように、p型キャップ層108にドーピングされているp型不純物10はホールを放出し(図中a)、n型活性層107にドーピングされているn型不純物12は電子を放出し(図中b)、これらのホール及び電子がキャリアとなって素子電流を形成する。ところが、n型活性層の上にp型キャップ層を成長させる際、p型キャップ層中のp型不純物10は熱拡散によりn型活性層に一部侵入し、逆に、n型活性層中のn型不純物12は熱拡散によりp型キャップ層に一部侵入する。このためpn接合界面付近でp型不純物10の一部とn型不純物12の一部とが同じ領域内に混在することになり、ドナーとアクセプターが図中cのように補償して有効なキャリア生成に寄与しなくなる。

そこで、本発明に係る窒化ガリウム系化合物半導体素子は、Inを含みn型不純物をドーピングしたn型窒化ガリウム系化合物半導体から成る活性層と、Alを含みp型不純物をドーピングしたp型窒化ガリウム系化合物半導体から成るp型クラッド層とを有する窒化ガリウム系化合物半導体素子において、前記活性層と前記p型クラッド層との間に、前記活性層よりも低濃度のn型不純物と前記p型クラッド層よりも低濃度のp型不純物とを含む窒化ガリウム系化合物半導体から成る第1のキャップ層と、Alを含みp型不純物をドーピングしたp型窒化ガリウム系化合物半導体から成る第2のキャップ層とを積層したことを特徴とする。

また好ましくは、前記第1のキャップ層は、前記活性層に接して形成され、さらに前記第2のキャップ層は、第1のキャップ層に接して形成されていることを特徴とする。さらに好ましくは、p型の光ガイド層が前記第2のキャップ層に接して形成されていることを特徴とする。

図2Bは、本発明に係る窒化物半導体素子におけるp型キャップ層108とn型活性層107とのpn接合界面の様子を示す模式図である。図2Bに示すように、本発明によれば、n型不純物及びp型不純物がいずれも低濃度に含まれている第1のキャップ層108aをn型活性層とp型キャップ層(=第2のキャップ層108b)の間に設けたため、高濃度の不純物を含むp型キャップ層がn型

活性層に直接接する場合（図2Aの場合）に比べて、ドナーとアクセプタの補償を抑制することができる。したがって、補償が抑制された分だけp型キャップ層（＝第2のキャップ層）へのp型不純物のドーピング量を減少することができ、素子寿命と特性温度を向上することができる。

- 5 最終の素子における不純物濃度は特に限定されないが、第1のキャップ層中のn型不純物及びp型不純物の濃度が $1.0 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下であり、前記第2のキャップ層におけるp型不純物の濃度が $8.0 \times 10^{18} \sim 2.0 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ であることが好ましい。尚、本件発明において、第1のキャップ層中のn型不純物及びp型不純物の濃度とは、層の厚さ方向における平均値いう。第1のキャ
- 10 ップ層中のn型不純物及びp型不純物の濃度には、他の層からの熱拡散の影響によって層の厚さ方向に濃度勾配ができています。即ち、第1のキャップ層中のn型不純物濃度は、活性層に近い側で高く、活性層から離れるに従って減少し、また逆に、第1のキャップ層中のp型不純物濃度は、第2キャップ層に近い側で高く、第2キャップ層から離れるに従って減少する。
- 15 また、ドナーとアクセプタの補償を効果的に抑制するために、第1のキャップ層は、n型不純物及びp型不純物をドーピングせずに成長することが好ましい。不純物をドーピングせずに成長させた場合であっても、第1のキャップ層は、活性層からの熱拡散によりn型不純物と第2のキャップ層からの熱拡散によりp型不純物とを含むことになる。
- 20 不純物濃度が低い第1のキャップ層は高抵抗な層となるため、素子の駆動電圧を抑制する観点からは、第1のキャップ層が薄い方が好ましい。一方、p型不純物とn型不純物の相殺を抑制する観点からは、第1のキャップ層が厚い方が好ましい。アクセプタとドナーの補償抑制の効果は、活性層にドーピングされたn型不純物が第1のキャップ層中で示す熱拡散長と第2のキャップ層にドーピングされたp型
- 25 不純物が第1のキャップ層中で示す熱拡散長との合計長が第1のキャップ層の膜厚にほぼ等しいときに最大となる。この時、第2のキャップ層から熱拡散してきたp型不純物とn型活性層から熱拡散してきたn型不純物が混在する領域は理論上なくなる。ここで、n型及びp型不純物が第1のキャップ層中で示す熱拡散長は、その不純物の第1のキャップ層への熱拡散が最も活発に起こる工程で示す値

を基準とする。即ち、「n型不純物が第1のキャップ層中で示す熱拡散長」とは、n型不純物が第1のキャップ層の成長温度（絶対温度）において示す熱拡散長を指す。「p型不純物が第1のキャップ層中で示す熱拡散長」とは、p型不純物が第2のキャップ層の成長温度（絶対温度）において示す熱拡散長を指す。尚、少なくとも井戸層と障壁層とを有する多重量子井戸構造の活性層が、その活性層がノンドープで終了している場合には、そのノンドープ層と第1のキャップ層の合計膜厚が上記熱拡散長の合計に等しいときに不純物の補償抑制効果が最大となる。たとえば、ノンドープ井戸層とn型不純物ドープ障壁層を交互に積層した多重量子井戸構造を有する活性層が、ノンドープ井戸層で終了している場合には、井戸層と第1キャップ層の合計膜厚が上記熱拡散長の合計に等しいときに不純物の補償抑制効果が最大となる。

ここで熱拡散長 L とは、 t 秒後の不純物の拡散長のことをいい、 L は $(D \cdot t)$ の平方根で決まる（ L は理論値である）。ここで D は拡散定数であり、 $D = D_0 \cdot a^2 \exp(-U/kT)$ で表され、 D_0 は成長初期の拡散定数、 a はその材料における格子定数、 U はその材料におけるポテンシャルエネルギー、 k はボルツマン定数、 T は温度をさす。

第1のキャップ層には、例えば、 GaN 層、 $In_xGa_{1-x}N$ 層（ $0 < x < 1$ ）、及び $Al_yGa_{1-y}N$ 層（ $0 < y < 1$ ）を用いることができ、また、これらの2種以上を積層したものを用いることができる。 GaN 層は、活性層中の In 解離の抑制に効果的であり、かつ、結晶性が良い層を形成し易い点で好ましい。 $In_xGa_{1-x}N$ 層は、厚膜に形成しても V_f の上昇がなく、結晶性良く積める点で好ましい。 $Al_yGa_{1-y}N$ 層（ $0 < y < 1$ ）は、活性層の In の解離の抑制に最も効果的である点で好ましい。

前述の通り、第1のキャップ層の好ましい膜厚は、n型及びp型不純物が第1のキャップ層中で示す熱拡散長に依存するため、第1のキャップ層の組成によっても変化する。例えば、第1のキャップ層が GaN 層から成る場合には、第1のキャップ層の膜厚は15～100Å（より好ましくは50～80Å）であることが望ましい。第1のキャップ層が $In_xGa_{1-x}N$ 層（ $0 < x < 1$ ）から成る場合には、膜厚15～150Å（より好ましくは85～115Å）が望ましい。第1

のキャップ層が $Al_yGa_{1-y}N$ 層 ($0 < y < 1$) から成る場合には、膜厚15～50 Å (より好ましくは20～50 Å) が望ましい。

一方、第2のキャップ層の膜厚は、低温で結晶性の良い膜を得るために、15～500 Åであることが好ましい。

- 5 活性層は、Inを含みn型不純物をドーピングした窒化ガリウム系化合物半導体であれば良く、バルク、単一量子井戸構造、多重量子井戸構造のいずれでも良い。中でも、Inを含む窒化ガリウム系化合物半導体から成る井戸層と、n型不純物を添加した窒化ガリウム系化合物半導体から成る障壁層を交互に積層してなる量子井戸構造の活性層を有することが好ましいが、その場合には、第1のキャップ層が障壁層よりも低濃度のn型不純物を含むようにする。

本発明の窒化ガリウム系化合物半導体素子に用いるn型不純物としては、Si、Ge、Sn、S、O等が挙げられ、好ましくはSi、Snである。また、p型不純物としては、特に限定されないが、Be、Zn、Mn、Cr、Mg、Caなどが挙げられ、好ましくはMgが用いられる。

- 15 尚、本明細書において、アンドープとは、窒化物半導体成長時に、ドーパントとなるp型不純物、n型不純物などを添加しない状態で成長させることを指し、例えば有機金属気相成長法において反応容器内に前記ドーパントとなる不純物を供給しない状態で成長させることを指す。

- 20 図面の簡単な説明

図1は、本発明の一実施形態を説明する模式断面図である。

図2A及びBは、従来(図2A)及び本発明(図2B)に係る窒化ガリウム系化合物半導体素子の活性層とp型キャップ層の界面付近の様子を示す模式図である。

- 25 図3は、従来の窒化ガリウム系化合物半導体素子の一例を示す模式断面図である。

発明を実施するための最良の形態

以下、図面を参照しながら本発明の実施の形態について説明する。本発明の窒

化ガリウム系化合物半導体素子には、 GaN 、 AlN 、もしくは InN 、又はこれらの混晶である窒化ガリウム系化合物半導体 ($\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ 、 $0 \leq x$ 、 $0 \leq y$ 、 $x+y \leq 1$) を用いることができ、これらの一部を、B、Pで置換した混晶でもよい。

- 5 ここでは、窒化ガリウム系化合物半導体素子の一例として、窒化ガリウム系化合物半導体レーザを例に説明する。

図1は、本発明に係る窒化ガリウム系化合物半導体レーザを示す断面図である。図1の窒化物半導体レーザは、 $\text{In}_a\text{Ga}_{1-a}\text{N}$ ($0 \leq a < 1$) から成る活性層107が、n型 $\text{Al}_b\text{Ga}_{1-b}\text{N}$ ($0 \leq b < 1$) 層103~106 (各層毎にbの値は異なる) と、p型 $\text{Al}_c\text{Ga}_{1-c}\text{N}$ ($0 \leq c < 1$) 層108~111 (各層毎にcの値は異なる) によって挟まれており、いわゆるダブルヘテロ構造が形成されている。

- 15 活性層107は、 $\text{In}_{x_1}\text{Ga}_{1-x_1}\text{N}$ 井戸層 ($0 < x_1 < 1$) と $\text{In}_{x_2}\text{Ga}_{1-x_2}\text{N}$ 障壁層 ($0 \leq x_2 < 1$ 、 $x_1 > x_2$) が適当な回数だけ交互に繰り返して積層されたMQW構造 (多重量子井戸構造) を有している。井戸層はアンドープで形成されている一方、全ての障壁層にはSi、Sn等のn型不純物がドーピングされている。障壁層にn型不純物がドーピングされていることにより、活性層中の初期電子濃度が大きくなって井戸層への電子注入効率が高くなり、レーザの発光効率が向上する。活性層107は、井戸層で終わっても良く、障壁層で終わっても良い。
- 20 活性層107には、蒸気圧の高い InN が比較的多量に混晶されているため、分解し易く、他の層よりも低温 (約900℃) で成長される。

キャップ層108は、アンドープで成長された第1のキャップ層108aと、高濃度のMgをドーピングして成長された第2のキャップ層108bの2層によって構成されている。

- 25 第1のキャップ層108aは、n型活性層107の障壁層にドーピングされたSiと第2のキャップ層108bにドーピングされたMgとの補償を防止する役割を果たしており、例えば、 GaN 層、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 層 ($0 < x < 1$)、 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 層 ($0 < y < 1$)、又はこれら2種以上の積層体をアンドープで成長させたものである。第1のキャップ層108aの膜厚は、約15Å以上で、活性層107に

ドーピングされたSiが第1のキャップ層108a中で示す熱拡散長と第2のキャップ層108bにドーピングされたMgが第1のキャップ層108a中で示す熱拡散長との合計長以下である。ここで、Si及びMgが第1のキャップ層108a中で示す熱拡散長Lは前述の式で表すことができる。これにより、n型活性層107

5 から熱拡散したSiと次に成長する第2のキャップ層108bから熱拡散するMgとの混在が防止される。

第1のキャップ層108aをGaN層、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 層 ($0 < x < 1$)、 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 層 ($0 < y < 1$)のうち、2種以上の積層体をアンドープで成長させたものとする場合、第1のキャップ層の好ましい膜厚としては、その積層体の

10 構成としてInGaNを有する場合は15~150Åとし、GaNを有する場合は15~100Åとする。これにより、第1のキャップ層を単一の層で設けた場合と同様の不純物の補償抑制効果の大きい窒化物半導体レーザ素子が得られる。

n型活性層107から第1のキャップ層108aに拡散したSiは、第1のキャップ層108a中で、n型活性層107との界面から第2のキャップ層108bとの界面に向かってしだいに濃度が低くなる。逆に、第2のキャップ層108bから第1のキャップ層108aに拡散したMgは、第1のキャップ層中で、第2のキャップ層108bとの界面からn型活性層107との界面に向かってしだいに濃度が低くなる。n型活性層107及び第2のキャップ層108bからの熱

15 拡散により第1のキャップ層108aに含まれるMg及びSiは、各々 $1.0 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下である。尚、第1のキャップ層108aを成長させるときに、SiやMg等の不純物を低濃度で（活性層及び第2キャップ層からの熱拡散後の最終的な濃度が $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下となるような低濃度で）ドーピングしながら成長させても良い。第1のキャップ層108aは、n型及びp型不純物の両方をほぼ同量だけ含むため、結果的にi型となっている。

20

25 第1のキャップ層108aは、活性層107中のIn解離を抑制するために、活性層107とほぼ同じ温度（約900℃）で成長させることが好ましい。活性層107よりも低温で成長させると活性層107からInが拡散されてくる恐れがあり、活性層107よりも高温で成長させると活性層中のInが解離し易くなる。

一方、第2のキャップ層108bは、活性層107へのホール供給と活性層への電子閉じ込めの役割を担っており、例えば、 $Al_zGa_{1-z}N$ 層 ($0 < z < 1$ 、より好ましくは $0.1 < z < 0.5$) にp型不純物としてMgが $8.0 \times 10^{18} \sim 2.0 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ の濃度にドーピングされて成る。第2のキャップ層108bは、結晶性の良好な薄膜を得るために1000℃以上の高温で成長させることが好ましい。第2のキャップ層108bにドーピングされたMgは下地層に向かって熱拡散するが、第1のキャップ層108aがあるためn型活性層107から拡散してきたSiと殆ど混合しない。したがって、第2のキャップ層108にドーピングされたほぼ全てのMgが有効なキャリア生成に寄与することになり、n型活性層の上に直接形成された従来のp型キャップ層に比べて、より少ないMgドーピング量で同等のレーザ発振を得ることができる。

また活性層のうち最も第1のキャップ層に近いn型不純物を添加した窒化ガリウム系化合物半導体からなる層のn型不純物濃度は $5.0 \times 10^{17} \sim 1.0 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ であることが好ましい。

以下、図1に示す窒化物半導体レーザについて、構造の詳細について説明する。基板101としては、GaNを用いることが好ましいが、窒化物半導体と異なる異種基板を用いても良い。異種基板としては、例えば、C面、R面、及びA面のいずれかを主面とするサファイア、スピネル ($MgAl_2O_4$ のような絶縁性基板、SiC (6H、4H、3Cを含む)、ZnS、ZnO、GaAs、Si、及び窒化物半導体と格子整合する酸化物基板等、窒化物半導体を成長させることが可能で従来から知られており、窒化物半導体と異なる基板材料を用いることができる。好ましい異種基板としては、サファイア、スピネルが挙げられる。また、異種基板は、オフアングルしていてもよく、この場合ステップ状にオフアングルしたものをを用いると窒化ガリウムからなる下地層が結晶性よく成長するため好ましい。更に、異種基板を用いる場合には、異種基板上に素子構造形成前の下地層となる窒化物半導体を成長させた後、異種基板を研磨などの方法により除去して、窒化物半導体の単体基板として素子構造を形成してもよく、また、素子構造形成後に、異種基板を除去する方法でも良い。

異種基板を用いる場合には、バッファ層 (低温成長層) と窒化物半導体 (好ま

しくはGaN) からなる下地層を介して素子構造を形成すると、窒化物半導体の成長が良好なものとなる。また、異種基板上に設ける下地層(成長基板)として、その他に、ELOG(Epitaxially Laterally Overgrowth) 成長させた窒化物半導体を用いると結晶性が良好な成長基板が得られる。ELOG成長層の具体例としては、異種基板上に、窒化物半導体層を成長させ、その表面に窒化物半導体の成長が困難な保護膜を設けるなどして形成したマスク領域と、窒化物半導体を成長させる非マスク領域を、ストライプ状に設け、その非マスク領域から窒化物半導体を成長させることで、膜厚方向への成長に加えて、横方向への成長が成されることにより、マスク領域にも窒化物半導体が成長して成膜された層などがある。その他の形態では、異種基板上に成長させた窒化物半導体層に開口部を設け、その開口部側面から横方向への成長がなされて、成膜される層でもよい。

基板101上には、バッファ層102を介して、n型窒化物半導体層であるn型コンタクト層103、クラック防止層104、n型クラッド層105、及びn型光ガイド層106が形成されている。n型クラッド層105を除く他の層は、素子によっては省略することもできる。n型窒化物半導体層は、少なくとも活性層と接する部分において活性層よりも広いバンドギャップを有することが必要であり、そのためにAlを含む組成であることが好ましい。また、各層は、n型不純物をドーピングしながら成長させてn型としても良いし、アンドープで成長させてn型としても良い。

n型窒化物半導体層103~106の上には、活性層107が形成されている。活性層107は、前述の通り、 $In_{x1}Ga_{1-x1}N$ 井戸層($0 < x1 < 1$)と $In_{x2}Ga_{1-x2}N$ 障壁層($0 \leq x2 < 1, x1 > x2$)が適当な回数だけ交互に繰り返し積層されたMQW構造を有している。井戸層は、アンドープで形成されており、全ての障壁層はSi、Sn等のn型不純物が好ましくは $1 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ の濃度でドーピングして形成されている。

活性層107の上には、第1のキャップ層108a、第2のキャップ層108bが形成されている。前述の通り、第1のキャップ層108aは、アンドープで形成されているが、下地となっている活性層107からの拡散によってSi等の

n型不純物を含んでおり、次に成長させる第2のキャップ層108bからの拡散によってMg等のp型不純物を含んでいる。したがって、第1のキャップ層108a中のn型不純物濃度は活性層107よりも低く、第1のキャップ層108a中のp型不純物濃度は第2のキャップ層108bよりも低くなり、いずれも $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下となる。

第2のキャップ層108bは、p型クラッド層110よりも高いAl混晶比を持つp型窒化物半導体から成り、好ましくは $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ ($0.1 < z < 0.5$) なる組成を有する。また、Mg等のp型不純物が $8 \times 10^{18} \sim 2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ の濃度でドーピングされている。

第2のキャップ層108bの上に、p型光ガイド層109、p型クラッド層110、p型コンタクト層111が形成されている。p型クラッド層110を除く他の層は、素子によっては省略することもできる。これらのp型窒化物半導体層は、少なくとも活性層と接する部分において活性層よりも広いバンドギャップを有することが必要であり、そのためにAlを含む組成であることが好ましい。また、各層は、p型不純物をドーピングしながら成長させてp型としても良いし、隣接する他の層からp型不純物を拡散させてp型としても良い。

これら第1のキャップ層と第2のキャップ層は活性層に対して、活性層から離れるにつれてバンドギャップエネルギーが大きくなるように形成する（オフセットをとる）のが好ましい。すなわち第1のキャップ層が活性層のいずれの層よりもバンドギャップエネルギーが大きい層で形成され、さらに第2のキャップ層が第1のキャップ層よりもバンドギャップエネルギーが大きい層とする。このような構成とすることで、最も効率よく電子の閉じ込めがなされ、キャリアのオーバーフローを抑えることができる。この好ましい形態としては、活性層の内、第1のキャップ層に隣接する層が $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 < x < 1$) で、第1のキャップ層がGa₂N層で、第2のキャップ層が $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ ($0 < y < 1$) の形態か、もしくは、活性層の内、第1のキャップ層に隣接する層が $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 < x < 1$) で、第1のキャップ層がGa₂N層と $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ ($0 < y < 1$) が順に形成された層で、第2のキャップ層が $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ ($y < z < 0 < z < 1$) の形態が挙げられ、この2つの形態は特に結晶性が活性層に近い程良

く、さらにレーザ素子としての寿命を長くすることができる。

n型窒化物半導体層及びp型窒化物半導体層は、とくにレーザ素子、端面発光素子においては、光ガイド層が設けられた構造を有し、この光ガイド層によって、導波路が設けられた構造となる。この光ガイド層は活性層内の井戸層よりも大きなバンドギャップエネルギーとし、また活性層と光ガイド層との屈折率差を小さくすることで、良好な導波路が設けられる。超格子構造でも単一膜で形成しても構わない。単一膜で形成することで、超格子とする場合と比べて、電流が流れやすくなり、 V_f を下げることができる。その際、単一膜の膜厚は、少なくとも量子効果がない程度の膜厚で、好ましくは障壁層、第1のキャップ層、第2のキャップ層のいずれよりも大きい膜厚で、より好ましくは300 Å以上の膜厚で形成することが好ましい。

p型窒化物半導体層のうち、p型光ガイド層109の途中までリッジストライプが形成され、さらに、保護膜161、162、p型電極120、n型電極121、pバット電極122、及びnバット電極123が形成されて半導体レーザが構成されている。

以下、実施例として、図1に示す構造の窒化ガリウム系化合物半導体レーザについて説明する。なお、実施例1～7のいずれの実施例も、第1のキャップ層はアンドープで成長させているが、最終のレーザ素子として第1キャップ層に存在するn型不純物及びp型不純物の濃度は、 $1.0 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下となる。

[実施例1]

(基板101)

基板として、異種基板に成長させた窒化物半導体、本実施例ではGa_{0.5}In_{0.5}Nを厚膜(100 μm)で成長させた後、異種基板を除去して、80 μmのGa_{0.5}In_{0.5}Nからなる窒化物半導体基板を用いる。基板の詳しい形成方法は、以下の通りである。2インチφ、C面を主面とするサファイアよりなる異種基板をMOVPE反応容器内にセットし、温度を500℃にして、トリメチルガリウム(TMG)、アンモニア(NH₃)を用い、Ga_{0.5}In_{0.5}Nよりなるバッファ層を200 Åの膜厚で成長させ、その後、温度を上げて、アンドープのGa_{0.5}In_{0.5}Nを1.5 μmの膜厚で成長させて、

下地層とする。次に、下地層表面にストライプ状のマスクを複数形成して、マスク開口部（窓部）から窒化物半導体、本実施例ではGaNを選択成長させて、横方向の成長を伴った成長（ELOG）により成膜された窒化物半導体層を、さらに厚膜で成長させて、異種基板、バッファ層、下地層を除去して、窒化物半導体
5 基板を得る。この時、選択成長時のマスクは、 SiO_2 からなり、マスク幅15 μm 、開口部（窓部）幅5 μm とする。

（バッファ層102）

窒化物半導体基板の上に、温度を1015℃にして、TMG（トリメチルガリウム）、TMA（トリメチルアルミニウム）、アンモニアを用い、 $\text{Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ よりなるバッファ層102を4 μm の膜厚で成長させる。この層は、AlGaNのn型コンタクト層と、GaNからなる窒化物半導体基板との間で、バッファ層として機能する。
10

（n型コンタクト層103）

次に得られたバッファ層102上にTMG、TMA、アンモニア、不純物ガスとしてシランガスを用い、1015℃でSiドーブした $\text{Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ よりなるn型コンタクト層103を4 μm の膜厚で成長させる。
15

（クラック防止層104）

次に、TMG、TMI（トリメチルインジウム）、アンモニアを用い、温度を900℃にして $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ よりなるクラック防止層104を0.15 μm の膜厚で成長させる。なお、このクラック防止層は省略可能である。
20

（n型クラッド層105）

次に、温度を1015℃にして、原料ガスにTMA、TMG及びアンモニアを用い、アンドープの $\text{Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ よりなるA層を25Åの膜厚で成長させ、続いて、TMAを止め、不純物ガスとしてシランガスを用い、Siを $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドーブしたGaNよりなるB層を25Åの膜厚で成長させる。そして、この操作をそれぞれ200回繰り返してA層とB層の積層し、総膜厚1 μm の多層膜（超格子構造）よりなるn型クラッド層106を成長させる。この時、アンドープAlGaNのAl混晶比としては、0.05以上0.3以下の範囲であれば、十分にクラッド層として機能する屈折率差を設けることができる。
25

(n型光ガイド層106)

次に、同様の温度で、原料ガスにTMG及びアンモニアを用い、アンドープのGa_{0.95}Nよりなるn型光ガイド層106を0.15μmの膜厚で成長させる。また、n型不純物をドーピングしてもよい。

5 (活性層107)

次に、温度を900℃にして、原料ガスにTMI（トリメチルインジウム）、TMG及びアンモニアを用い、不純物ガスとしてシランガスを用い、Siを $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドーピングしたIn_{0.05}Ga_{0.95}Nよりなる障壁層(B)を140Åの膜厚で、シランガスを止め、アンドープのIn_{0.1}Ga_{0.9}Nよりなる井戸層(W)を40Åの膜厚で、この障壁層(B)、井戸層(W)を、(B) / (W) / (B) / (W) / (B)の順に積層する。最終層は、障壁層とする。活性層107は、総膜厚約500Åの多重量子井戸構造(MQW)となる。

(第1のキャップ層108a)

次に、同様の温度で、原料ガスにTMA、TMG及びアンモニアを用い、Ga_{0.95}Nよりなる第1のキャップ層108aを75Åの膜厚で成長させる。

(第2のキャップ層108b)

次に、温度を1000℃に上げ、原料ガスにTMA、TMG及びアンモニアを用い、不純物ガスとしてCp₂Mg（シクロペンタジエニルマグネシウム）を用い、Mgを $7.5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドーピングしたAl_{0.9}Ga_{0.7}Nよりなる第2キャップ層108bを100Åの膜厚で成長させる。

(p型光ガイド層109)

次に、温度を1000℃にして、原料ガスにTMG及びアンモニアを用い、アンドープのGa_{0.95}Nよりなるp型光ガイド層109を0.15μmの膜厚で成長させる。このp型光ガイド層109は、アンドープとして成長させるが、p型電子閉込め層108、p型クラッド層109等の隣接層からのMgの拡散により、Mg濃度が $5 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ となりp型を示す。またこの層は成長時に意図的にMgをドーピングしても良い。

(p型クラッド層110)

続いて、1000℃でアンドープAl_{0.05}Ga_{0.95}Nよりなる層を25Åの

膜厚で成長させ、続いてTMAを止め、 Cp_2Mg を用いて、MgドープGaNよりなる層を25Åの膜厚で成長させ、それを90回繰り返して総膜厚0.45μmの超格子層よりなるp型クラッド層110を成長させる。p型クラッド層は少なくとも一方がAlを含む窒化物半導体層を含み、互いにバンドギャップエネルギーが異なる窒化物半導体層を積層した超格子で作製した場合、不純物はいずれか一方の層に多くドーピングして、いわゆる変調ドーピングを行うと結晶性が良くなる傾向にあるが、両方に同じようにドーピングしても良い。クラッド層110は、Alを含む窒化物半導体層、好ましくは $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 < x < 1$)を含む超格子構造とすることが望ましく、さらに好ましくはGaNとAlGaNとを積層した超格子構造とする。p側クラッド層110を超格子構造とすることによって、クラッド層全体のAl混晶比を上げることができるので、クラッド層自体の屈折率が小さくなり、さらにバンドギャップエネルギーが大きくなるので、閾値を低下させる上で非常に有効である。さらに、超格子としたことにより、クラッド層自体に発生するピットが超格子にしないものよりも少なくなるので、ショート

15 (p型コンタクト層111)

最後に、1000℃で、p型クラッド層110の上に、Mgを $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ ドーピングしたp型GaNよりなるp型コンタクト層111を150Åの膜厚で成長させる。p型コンタクト層111はp型の $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ ($0 \leq x, 0 \leq y, x+y \leq 1$)で構成することができ、好ましくはMgをドーピングしたGaNとすれば、p電極120と最も好ましいオーミック接触が得られる。コンタクト層111は電極を形成する層であるので、 $1 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ 以上の高キャリア濃度とすることが望ましい。 $1 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ よりも低いと電極と好ましいオーミックを得るのが難しくなる傾向にある。さらにコンタクト層の組成をGaNとすると、電極材料と好ましいオーミックが得られやすくなる。反応終了後、反応容器内において、ウェハを窒素雰囲気中、700℃でアニーリングを行い、p型層を更に低抵抗化する。

25 以上のようにして窒化物半導体を成長させ各層を積層した後、ウェハを反応容器から取り出し、最上層のp型コンタクト層の表面に SiO_2 よりなる保護膜を

形成して、RIE（反応性イオンエッチング）を用い SiCl_4 ガスによりエッチングし、図1に示すように、n電極を形成すべきn型コンタクト層103の表面を露出させる。このように窒化物半導体を深くエッチングするには保護膜として SiO_2 が最適である。

- 5 次に上述したストライプ状の導波路領域として、リッジストライプを形成する。まず、最上層のp型コンタクト層（上部コンタクト層）のほぼ全面に、PVD装置により、 Si 酸化物（主として、 SiO_2 ）よりなる第1の保護膜161を0.5 μm の膜厚で形成した後、第1の保護膜161の上に所定の形状のマスクをかけ、RIE（反応性イオンエッチング）装置により、 CF_4 ガスを用い、フォト
- 10 リソグラフィ技術によりストライプ幅1.6 μm の第1の保護膜161とする。この時、リッジストライプの高さ（エッチング深さ）は、p型コンタクト層111、およびp型クラッド層109、p型光ガイド層110の一部をエッチングして、p型光ガイド層109の膜厚が0.1 μm となる深さまでエッチングして、形成する。

- 15 次に、リッジストライプ形成後、第1の保護膜161の上から、 Zr 酸化物（主として ZrO_2 ）よりなる第2の保護膜162を、第1の保護膜161の上と、エッチングにより露出されたp型光ガイド層109の上に0.5 μm の膜厚で連続して形成する。

- 第2の保護膜162形成後、ウエハを600℃で熱処理する。このように SiO_2 以外の材料を第2の保護膜として形成した場合、第2の保護膜成膜後に、3
- 20 00℃以上、好ましくは400℃以上、窒化物半導体の分解温度以下（1200℃）で熱処理することにより、第2の保護膜が第1の保護膜の溶解材料（フッ酸）に対して溶解しにくくなるため、この工程を加えることがさらに望ましい。

- 次に、ウエハをフッ酸に浸漬し、第1の保護膜161をリフトオフ法により除
- 25 去する。このことにより、p型コンタクト層111の上に設けられていた第1の保護膜161が除去されて、p型コンタクト層が露出される。以上のようにして、図1に示すように、リッジストライプの側面、及びそれに連続する平面（p型光ガイド層109の露出面）に第2の保護膜162が形成される。

このように、p型コンタクト層112の上に設けられた第1の保護膜161が、

除去された後、図1に示すように、その露出したp型コンタクト層111の表面にNi/Auよりなるp電極120を形成する。但しp電極120は100 μ mのストライプ幅として、図1に示すように、第2の保護膜162の上に渡って形成する。第2の保護膜162形成後、既に露出させたn型コンタクト層103の表面にはTi/Alよりなるストライプ状のn電極121をストライプと平行な方向で形成する。

次に、n電極を形成するためにエッチングして露出された面でp、n電極に、取り出し電極を設けるため所望の領域にマスクし、SiO₂とTiO₂よりなる誘電体多層膜164を設けた後、p、n電極上にNi-Ti-Au (1000Å-1000Å-8000Å)よりなる取り出し(パッド)電極122、123をそれぞれ設けた。この時、活性層107の幅は、200 μ mの幅(共振器方向に垂直な方向の幅)であり、共振器面(反射面側)にもSiO₂とTiO₂よりなる誘電体多層膜が設けられる。

以上のようにして、n電極とp電極とを形成した後、ストライプ状の電極に垂直な方向で、窒化物半導体のM面(GaNのM面、(1 1- 0 0)など)でバー状に分割して、更にバー状のウエハを分割してレーザ素子を得る。この時、共振器長は、650 μ mである。

室温においてしきい値2.8kA/cm²、5~30mWの出力において発振波長405nmの連続発振のレーザ素子が得られる。レーザ素子の素子寿命は、60℃、5mWの連続発振において約2000時間となり、特性温度も後述する比較例に対して向上する。

[実施例2]

第1のキャップ層108aを除いて実施例1と同様にして窒化物ガリウム系化合物半導体レーザを作製する。第1のキャップ層108aを、温度900℃で、原料ガスにTMA、TMG及びアンモニアを用いてアンドープAl_{0.3}Ga_{0.7}Nとして約35Åの膜厚で成長させる。この窒化ガリウム系化合物半導体レーザも、実施例1と同様の寿命と特性温度を示す。

[実施例3]

第1のキャップ層108aを除いて実施例1と同様にして窒化物ガリウム系化

化合物半導体レーザを作製する。第1のキャップ層108aを、温度を900℃にして、原料ガスにTMI（トリメチルインジウム）、TMG及びアンモニアを用い、アンドープ $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ として約100Åの膜厚で成長させる。この窒化ガリウム系化合物半導体レーザも、実施例1と同様の寿命と特性温度を示す。

5 [実施例4]

活性層107の最終層を約40Å厚の井戸層とし、第1のキャップ層108aの厚さを約60Åとする他は、実施例3と同様にして窒化物ガリウム系化合物半導体レーザを作製する。この窒化ガリウム系化合物半導体レーザも、実施例1と同様の寿命と特性温度を示す。

10 [実施例5]

活性層107、第1のキャップ層108a、及び第2のキャップ層108bを1次のように成長させるほかは実施例1と同様にして窒化ガリウム系化合物半導体レーザを作製する。

(活性層107)

15 次に、温度を900℃にして、原料ガスにTMI（トリメチルインジウム）、TMG及びアンモニアを用い、不純物ガスとしてシランガスを用い、Siを $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープした $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ よりなる障壁層(B)を140Åの膜厚で、シランガスを止め、アンドープの $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ よりなる井戸層(W)を70Åの膜厚で、この障壁層(B)、井戸層(W)を、(B) / (W) / (B) / (W) / (B)の順に積層する。最終層は、障壁層とし、最終層のみSiのドープ量を $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ とする。活性層107は、総膜厚560Åの多重量子井戸構造(MQW)となる。

(第1のキャップ層108a)

25 次に、同様の温度で、原料ガスにTMA、TMG及びアンモニアを用い、Al $_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ よりなる第1のキャップ層108aを30Åの膜厚で成長させる。

(第2のキャップ層108b)

次に、温度を1000℃に上げ、原料ガスにTMA、TMG及びアンモニアを用い、不純物ガスとして Cp_2Mg （シクロペンタジエニルマグネシウム）を用

い、Mgを $7.5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープした $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{N}$ よりなる第2
キャップ層108bを70Åの膜厚で成長させる。

これにより得られるレーザ素子は室温においてしきい値 $2.8 \text{ kA} / \text{cm}^2$ 、
5~30mWの出力において発振波長405nmの連続発振のレーザ素子が得ら
れる。レーザ素子の素子寿命は、60℃、5mWの連続発振において約3500
時間となり、特性温度も後述する比較例に対して向上する。

【実施例6】

第1のキャップ層108a、及び第2のキャップ層108bを次のように成長
させるほかは実施例5と同様にして窒化ガリウム系化合物半導体レーザを作製す
る。

(第1のキャップ層108a)

900℃で、原料ガスにTMA、TMG及びアンモニアを用い、Ga₂Nよりな
る第1のキャップ層108aを30Åの膜厚で成長させる。

(第2のキャップ層108b)

次に、温度を1000℃に上げ、原料ガスにTMA、TMG及びアンモニアを
用い、不純物ガスとして Cp_2Mg （シクロペンタジエニルマグネシウム）を用
い、Mgを $7.5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープした $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{N}$ よりなる第2
キャップ層108bを100Åの膜厚で成長させる。

これにより得られるレーザ素子は室温においてしきい値 $2.8 \text{ kA} / \text{cm}^2$ 、
5~30mWの出力において発振波長405nmの連続発振のレーザ素子が得ら
れる。レーザ素子の素子寿命は、60℃、5mWの連続発振において約3000
時間となり、特性温度も後述する比較例に対して向上する。

【実施例7】

活性層107、第1のキャップ層108a、及び第2のキャップ層108bを
次のように成長させるほかは実施例1と同様にして窒化ガリウム系化合物半導体
レーザを作製する。

(活性層107)

次に、温度を900℃にして、原料ガスにTMI（トリメチルインジウム）、T
MG及びアンモニアを用い、不純物ガスとしてシランガスを用い、Siを 5×1

WO 02/084831

PCT/JP02/03475

20

$0^{18}/\text{cm}^3$ ドープした $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ よりなる障壁層 (B) を 140\AA の膜厚で、シランガスを止め、アンドープの $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ よりなる井戸層 (W) を 70\AA の膜厚で、この障壁層 (B)、井戸層 (W) を、(B) / (W) / (B) / (W) . . . / (B) の順に積層する。最終層は、障壁層とし、Si のドープ量を $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ の $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ よりなる層 (膜厚が 100\AA)、アンドープの $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ よりなる層 (膜厚が 50\AA) の2層が順に積層されたそうとする。活性層 107 は、総膜厚 570\AA の多重量子井戸構造 (MQW) となる。

(第1のキャップ層 108 a)

10 次に、同様の温度で、原料ガスに TMA、TMG 及びアンモニアを用い、 $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ よりなる第1のキャップ層 108 a を 30\AA の膜厚で成長させる。

(第2のキャップ層 108 b)

15 次に、温度を 1000°C に上げ、原料ガスに TMA、TMG 及びアンモニアを用い、不純物ガスとして Cp_2Mg (シクロペンタジエニルマグネシウム) を用い、Mg を $7.5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ドープした $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{N}$ よりなる第2キャップ層 108 b を 70\AA の膜厚で成長させる。

20 これにより得られるレーザ素子は室温においてしきい値 $2.8\text{ kA}/\text{cm}^2$ 、 $5 \sim 30\text{ mW}$ の出力において発振波長 405 nm の連続発振のレーザ素子が得られる。レーザ素子の素子寿命は、 60°C 、 5 mW の連続発振において約 2800 時間となり、特性温度も後述する比較例に対して向上する。

[変形例 1]

25 次に変形例として活性層 107、第1のキャップ層 108 a、及び第2のキャップ層 108 b を次のように成長させる。ほかの構成は実施例 1 と同様にして窒化ガリウム系化合物半導体レーザを作製する。

(活性層 107)

次に、温度を 900°C にして、原料ガスに TMI (トリメチルインジウム)、TMG 及びアンモニアを用い、不純物ガスとしてシランガスをを用い、Si を $5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ドープした $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ よりなる障壁層 (B) を 140\AA の

膜厚で、シランガスを止め、アンドープの $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ よりなる井戸層 (W) を 70 Å の膜厚で、この障壁層 (B)、井戸層 (W) を、(B) / (W) / (B) / (W) / (B) の順に積層する。最終層は、障壁層とし、最終層のみアンドープとする。活性層 107 は、総膜厚 560 Å の多重量子井戸構造 (MQW) となる。

5 となる。

(第1のキャップ層 108 a)

次に、同様の温度で、原料ガスに TMA、TMG 及びアンモニアを用い、Ga N よりなる第1のキャップ層 108 a を 30 Å の膜厚で成長させる。

(第2のキャップ層 108 b)

10 次に、温度を 1000 °C に上げ、原料ガスに TMA、TMG 及びアンモニアを用い、不純物ガスとして Cp_2Mg (シクロペンタジエニルマグネシウム) を用い、Mg を $7.5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープした $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{N}$ よりなる第2キャップ層 108 b を 70 Å の膜厚で成長させる。

このレーザ素子においては、第1のキャップ層 108 a に最も近い n 型不純物を添加した窒化ガリウム系化合物半導体からなる層は、アンドープの障壁層とアンドープの井戸層を間に介した Si ドープの障壁層となり、n 型不純物を添加した層と p 型不純物を添加した層との間のアンドープの層の総膜厚は 240 Å となる。

20 これにより得られるレーザ素子は、全ての実施例と比べて寿命は短くなるが、比較例 1 ~ 3 と比べて寿命は長くなる。

[比較例 1]

25 第1のキャップ層 108 a を形成せずに、活性層 107 の上に直接第2のキャップ層 108 b を形成する他は、実施例 1 と同様にして窒化ガリウム系化合物半導体レーザを作製する。室温においてしきい値 $4.0 \text{ kA} / \text{cm}^2$ 、5 ~ 30 mW の出力において発振波長 405 nm の連続発振のレーザ素子が得られる。レーザ素子の素子寿命は、60 °C、5 mW の連続発振において約 1000 時間となり、特性温度は、約 200 K となる。

[比較例 2]

第1のキャップ層 108 a を形成せずに、活性層 107 の上に直接第2のキャ

ップ層108bを以下のようにして形成する他は、実施例1と同様にして窒化ガリウム系化合物半導体レーザを作製する。

(第2のキャップ層108b)

次に、温度を1000℃に上げ、原料ガスにTMA、TMG及びアンモニアを用い、不純物ガスとして Cp_2Mg (シクロペンタジエニルマグネシウム)を用い、Mgを $1.0 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ ドープした $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$ よりなる第2キャップ層108bを100Åの膜厚で成長させる。

室温においてしきい値 $2.8 \text{ kA} / \text{cm}^2$ 、5~30mWの出力において発振波長405nmの連続発振のレーザ素子が得られる。レーザ素子の素子寿命は、60℃、5mWの連続発振において約1000時間となり、特性温度は、約200Kとなる。

【比較例3】

第1のキャップ層108a、及び第2のキャップ層108bを次のように成長させるほかは実施例1と同様にして窒化ガリウム系化合物半導体レーザを作製する。

(第1のキャップ層108a)

900℃で、原料ガスにTMA、TMG及びアンモニアを用い、不純物ガスとして Cp_2Mg (シクロペンタジエニルマグネシウム)を用い、Mgを $1.0 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ ドープしたGa_{0.25}Nよりなる第1のキャップ層108aを30Åの膜厚で成長させる。

(第2のキャップ層108b)

次に、温度を1000℃に上げ、原料ガスにTMA、TMG及びアンモニアを用い、不純物ガスとして Cp_2Mg (シクロペンタジエニルマグネシウム)を用い、Mgを $7.5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープした $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{N}$ よりなる第2キャップ層108bを100Åの膜厚で成長させる。

これにより得られるレーザ素子は、第1キャップ層のp型不純物が第2キャップ層と比べて多いことから、寿命が短くなり、60℃、5mWの連続発振において約800時間となり、また第2キャップ層のp型不純物が第1キャップ層と比べて少ないことから、実施例1と比べて V_f が高くなる。

産業上の利用の可能性

- 5 本件発明によれば、Inを含む活性層の上に形成するp型キャップ層を、不純物濃度が低い（好ましくはノンドープの）第1のキャップ層と、p型不純物をドープした第2のキャップ層との2層により構成することにより、活性層とp型キャップ層の界面付近で起こるドナーとアクセプタの補償を抑制できるため、p型キャップ層のp型不純物濃度を減少して、長寿命で温度特性に優れた窒化ガリウム系化合物半導体素子を得ることができる。

請求の範囲

1. Inを含みn型不純物をドーピングしたn型窒化ガリウム系化合物半導体から成る活性層と、Alを含みp型不純物をドーピングしたp型窒化ガリウム系化合物半導体から成るp型クラッド層とを有する窒化ガリウム系化合物半導体素子において、

前記活性層と前記p型クラッド層との間に、前記活性層よりも低濃度のn型不純物と前記p型クラッド層よりも低濃度のp型不純物とを含む窒化ガリウム系化合物半導体から成る第1のキャップ層と、Alを含みp型不純物をドーピングしたp型窒化ガリウム系化合物半導体から成る第2のキャップ層とを積層したことを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体素子。

2. 前記第1のキャップ層は、前記活性層に接して形成され、さらに前記第2のキャップ層は、第1のキャップ層に接して形成されていることを特徴とする請求項1に記載の窒化ガリウム系化合物半導体素子。

3. 前記第1のキャップ層におけるn型不純物及びp型不純物の濃度が $1.0 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下であり、前記第2のキャップ層におけるp型不純物の濃度が $8.0 \times 10^{18} \sim 2.0 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ であることを特徴とする請求項1又は2に記載の窒化ガリウム系化合物半導体素子。

4. 前記第1のキャップ層が、n型不純物及びp型不純物をドーピングせずに成長され、前記活性層からの熱拡散によりn型不純物を含み、前記第2のキャップ層からの熱拡散によりp型不純物を含むことを特徴とする請求項1乃至3のいずれか1項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体素子。

5. 前記第1のキャップ層の膜厚が、前記活性層にドーピングされたn型不純物が前記第1のキャップ層中で示す熱拡散長と前記第2のキャップ層にドーピングされたp型不純物が前記第1のキャップ層中で示す熱拡散長との合計長以下であることを特徴とする請求項1乃至4のいずれか1項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体素子。

6. 前記第1のキャップ層が、GaN層、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 層 ($0 < x < 1$)、及び $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 層 ($0 < y < 1$) から成る群から選択された1層又はこれら

の積層体から成ることを特徴とする請求項1乃至5のいずれか1項に記載の窒化物半導体発光素子。

7. 前記第1のキャップ層がGa_{1-x}N層から成り、膜厚が15~100Åであることを特徴とする請求項1乃至6のいずれか1項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体素子。

8. 前記第1のキャップ層がIn_xGa_{1-x}N層(0<x<1)から成り、膜厚が15~150Åであることを特徴とする請求項1乃至6のいずれか1項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体素子。

9. 前記第1のキャップ層がAl_yGa_{1-y}N層(0<y<1)から成り、膜厚が15~50Åであることを特徴とする請求項1乃至6のいずれか1項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体素子。

10. 前記第2のキャップ層の膜厚が、15~500Åであることを特徴とする請求項1乃至9のいずれか1項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体素子。

11. 前記活性層が、Inを含む窒化ガリウム系化合物半導体から成る井戸層と、n型不純物を添加した窒化ガリウム系化合物半導体から成る障壁層を交互に積層してなり、前記第1のキャップ層が前記障壁層よりも低濃度のn型不純物を含むことを特徴とする請求項1乃至10のいずれか1項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体素子。

12. 前記活性層のうち最も第1のキャップ層に近いn型不純物を添加した窒化ガリウム系化合物半導体からなる層のn型不純物濃度は $5.0 \times 10^{17} \sim 1.0 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ であることを特徴とする請求項1乃至11のいずれか1項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体素子。

図面

図1

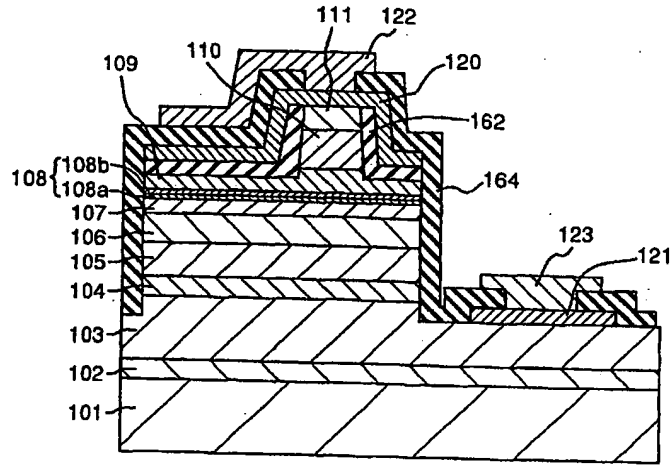


図2A

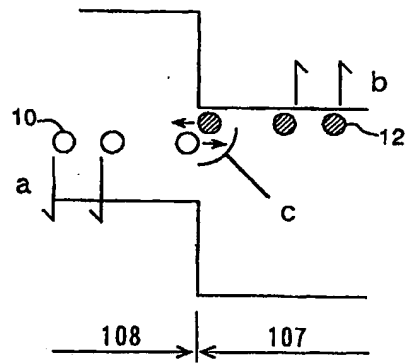


図2B

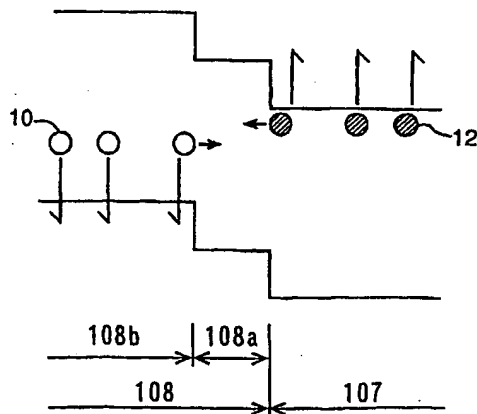
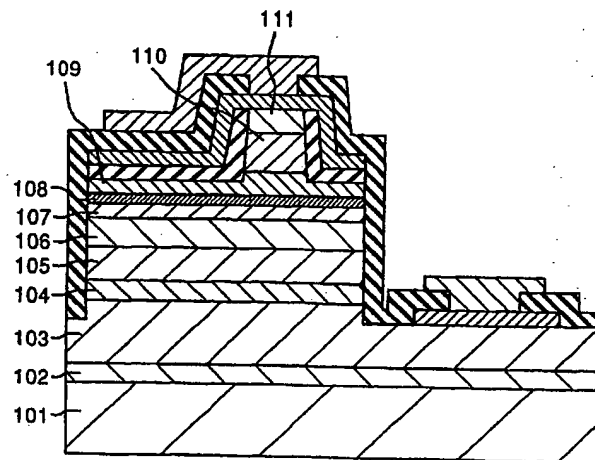


図3



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP02/03475

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl.⁷ H01S5/323, H01S5/22

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
Int.Cl.⁷ H01S5/323, H01S5/22Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2002
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2002 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2002

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
/A	EP 762516 A1 (Mitsubishi Cable Ind., Ltd.), 12 March, 1997 (12.03.97), Full text; all drawings & US 5793061 A & JP 9-129926 A & DE 69602141 A	1-12
A	JP 10-12969 A (Nichia Chemical Industries, Ltd.), 16 January, 1998 (16.01.98), (Family: none)	1-12
A	JP 8-293643 A (Sharp Corp.), 05 November, 1996 (05.11.96), (Family: none)	1-12
A	JP 9-266326 A (Toyota Gosei Co., Ltd.), 07 October, 1997 (07.10.97), (Family: none)	1-12

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family
---	--

Date of the actual completion of the international search
29 May, 2002 (29.05.02)Date of mailing of the international search report
11 June, 2002 (11.06.02)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Int. application No.

PCT/JP02/03475

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 803916 A2 (Sanyo Electric Co., Ltd.), 29 October, 1997 (29.10.97), & US 5990496 A & US 6162656 A & JP 10-12923 A & KR 97072575 A & CN 1169036 A	1-12
A	JP 10-242565 A (Pioneer Electronic Corp.), 11 September, 1998 (11.09.98), (Family: none)	1-12
A	JP 11-54847 A (NEC Corp.), 26 February, 1999 (26.02.99), (Family: none)	1-12
A	EP 1122841 A1 (Matsushita Electric Ind. Co., Ltd.), 08 August, 2001 (08.08.01), & JP 2000-156544 A & WO 00/17972 A1 & TW 423189 A & CN 1316123 A & KR 2001075149 A	1-12
A	EP 1041650 A2 (Toyoda Gosei Kabushiki Kaisha), 04 October, 2000 (04.10.00), & US 2002/14632 A1 & JP 2000-286447 A	1-12
A	EP 1168539 A1 (Nichia Kagaku Kogyo Kabushiki Kaisha), 02 January, 2002 (02.01.02), & JP 2000-349398 A & WO 00/52796 A1	1-12
A	JP 2001-77413 A (Showa Denko Kabushiki Kaisha), 23 March, 2001 (23.03.01), (Family: none)	1-12

国際調査報告		国際出願番号 PCT/JPO2/03475	
A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))			
Int. CI ¹ H01S5/323 H01S5/22			
B. 調査を行った分野			
調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))			
Int. CI ¹ H01S5/323 H01S5/22			
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの			
日本国実用新案公報 1922-1996年			
日本国公開実用新案公報 1971-2002年			
日本国登録実用新案公報 1994-2002年			
日本国実用新案登録公報 1996-2002年			
国際調査で利用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)			
C. 関連すると認められる文献			
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号	
A	EP 762516 A1 (MITSUBISHI CABLE IND LTD) 1997.03.12, 全文, 全図 & US 5793061 A & JP 9-129926 A & DE 69602141 A	1-12	
A	JP 10-12969 A (日亜化学工業株式会社) 1998.01.16 (ファミリーなし)	1-12	
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。			
* 引用文献のカテゴリー			
「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの		の日の後に公表された文献	
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの		「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの	
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)		「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの	
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献		「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの	
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願		「&」 同一パテントファミリー文献	
国際調査を完了した日 29.05.02		国際調査報告の発送日 11.06.02	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/JP) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		特許庁審査官 (権限のある職員) 道祖土 新吾 電話番号 03-3581-1101 内線 3253	

国際調査報告

国際出願番号 PCT/JPO2/03475

C (続き) 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP 8-293643 A (シャープ株式会社) 1996. 11. 05 (ファミリーなし)	1-12
A	JP 9-266326 A (豊田合成株式会社) 1997. 10. 07 (ファミリーなし)	1-12
A	EP 803916 A2 (SANYO ELECTRIC CO LTD) 1997. 10. 29 & US 5990496 A & US 6162656 A & JP 10-12923 A & KR 97072575 A & CN 1169036 A	1-12
A	JP 10-242565 A (パイオニア株式会社) 1998. 09. 11 (ファミリーなし)	1-12
A /	JP 11-54847 A (日本電気株式会社) 1999. 02. 26 (ファミリーなし)	1-12
A	EP 1122841 A1 (MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD) 2001. 08. 08 & JP 2000-156544 A & WO 00/17972 A 1 & TW 423189 A & CN 1316123 A & KR 2001075149 A	1-12
A	EP 1041650 A2 (TOYODA GOSEI KK) 2000. 10. 04 & US 2002/14632 A1 & JP 2000-286447 A	1-12
A	EP 1168539 A1 (NICHIA KAGAKU KOGYO KK) 2002. 01. 02 & JP 2000-349398 A & WO 00/52796 A1	1-12
A	JP 2001-77413 A (昭和電工株式会社) 2001. 03. 23 (ファミリーなし)	1-12

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.